
Робота присвячена аналізу особливостей використання методів розрахунку втрат електроенергії в розподільних електричних мережах, а також дослідженню, з використанням натурного експерименту, впливу якості інформаційного забезпечення на точність розрахунку технічної складової втрат

УДК 621.311.161

П.Д. Лежнюк, д-р техн. наук
В.В. Кулик, канд. техн. наук
Вінницький національний технічний університет
А.Л. Поліщук
Вінницькі міські електричні мережі

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

Вступ. Відомо, що через складність міських електричних мереж (МЕМ) 10(6) кВ, істотно нерівномірний графік відпуску електроенергії споживачам, велику кількість перемикачів, що виконуються для підтримання їх роботоспроможності та забезпечення безперервного живлення споживачів, визначення втрат електроенергії у таких мережах є достатньо складною задачею [1–3]. У загальному вигляді балансові втрати електроенергії у розподільних електричних мережах можуть бути подані у вигляді двох складових технічної та комерційної [4]. При цьому, технічна складова втрат електроенергії може бути обчислена з точністю, що піддається аналізу і визначається похибкою методів розрахунку, прийнятими припущеннями, а також відповідністю та надійністю інформаційного забезпечення [5]. Комерційна складова втрат, враховуючи її сутність, може бути оцінена досить приблизно. Визначення її з прийнятною точністю можливе з балансу електроенергії. Для чого необхідне розрахункове значення технічної складової втрат за звітний період, обчислене з прийнятною точністю.

Враховуючи досвід експлуатації МЕМ, можна стверджувати, що однією з причин підвищених технологічних витрат електроенергії (ТВЕ) є низький рівень спостережності мереж та неналежна якість обліку електроенергії. Останнє призводить також до необґрунтовано-високих комерційних втрат електроенергії [2], що, у сукупності, суттєво зменшує прибутки енергопостачальних компаній. Разом з тим, вдосконалення комерційного обліку електроенергії шляхом впровадження АСКОЕ стикається з рядом проблем: від неналежного фінансування, до відсутності єдиної концепції розвитку та методичного забезпечення. Якщо структура задач та показники ефективності АСКОЕ для міських електромереж є великою мірою визначені, то питання інформаційного забезпечення, необхідного для розв'язання поставлених задач практично не досліджувалися.

Однією з основних задач АСКОЕ є аналіз та оптимізація структури балансів електроенергії в МЕМ, і, таким чином, підвищення ефективності роботи енергетичних підприємств, у тому числі, за рахунок зменшення значення втрат електроенергії у власних мережах. Обґрунтування допущень та вибір методів розрахунку для розв'язання окремих задач АСКОЕ виконується, головним чином, виходячи з характеристик наявного інформаційного забезпечення. Отже, наявний обсяг і якість даних про стан та режими роботи МЕМ є визначальним фактором для забезпечення належної адекватності результатів розрахунків втрат електроенергії в них і, відповідно, розроблення заходів щодо їх зменшення.

Метою даної статті є дослідження впливу точності, повноти вихідних даних та періодичності їх оновлення на точність результатів розрахунків технічних втрат електроенергії в МЕМ, а також визначення характеристик інформаційного забезпечення, що дозволить розв'язувати вказану задачу з контрольованою точністю.

АСКОЕ локального рівня як елемент системи балансування електроенергії. Впровадження АСКОЕ має за мету формування прозорих відносин між виробниками, постачальниками та споживачами електричної енергії. Виходячи з чого, головними задачами АСКОЕ локального рівня, в тому числі міських електричних мереж, є забезпечення обліку активної та реактивної електричної енергії на межах балансової приналежності ЕМ, а також підвищення точності, вірогідності й оперативності отримання даних щодо виробництва, передачі та постачання електричної енергії [6]. Реалізація цих задач дозволяє підвищити ефективність оперативного керування режимами МЕМ та здійснювати моніторинг всіх складових балансу електричної енергії з метою формування заходів щодо їх оптимізації.

Структура задач АСКОЕ, що регламентується нормативними документами [6], визначає функціональну структуру системи, яка в загальному випадку складається з вимірювального середовища, підсистеми збирання й обробки даних та комунікаційного середовища (рис. 1). Згідно функціональної насиченості АСКОЕ встановлено перелік вимог до її елементів (рис. 1) в частині їх надійності та вірогідності вихідної інформації [6, 7]. Окремі вимоги висувуються до точності вимірювального середовища, а саме до класів точності вимірювальних трансформаторів, а також первинних перетворювачів та лічильників [7]. Разом з тим, для локального рівня АСКОЕ практично відсутній перелік вимог та рекомендацій щодо обсягу та періодичності оновлення інформаційного забезпечення, тобто формування вимірювального середовища, необхідного для розв'язання з функціональних задач, що пов'язані з складанням балансів електроенергії та керуванням режимами розподільних мереж.

Невирішеність даного питання у поєднанні з практичною неможливістю забезпечення повної спостережності МЕМ є однією з головних причин, що ускладнюють розробку та впровадження АСКОЕ, а також організацію ефективного функціонування даної системи. У більшості обленерго на сьогодні вимірювальне середовище АСКОЕ міських та районних електричних мереж знаходиться на рівні впровадження або взагалі відсутнє.



Рис. 1 – Функціональна схема АСКОЕ

Останнє призводить до практичної неможливості аналізу структури балансів електроенергії, оскільки інформаційне забезпечення дозволяє (з певною точністю) визначити лише сумарні балансові витрати електроенергії. А отже обґрунтоване розроблення заходів зі зменшення окремих складових сумарних витрат електроенергії (технічних, комерційних втрат тощо) на практиці є ускладненим, а часто неможливим.

Аналіз структури витрат електроенергії в МЕМ. Балансові витрати електроенергії можна умовно поділити на технологічні та комерційні [4]. Технологічні витрати обумовлені технологією виробничого процесу розподілу електроенергії, а також неточністю обліку її надходження та відпуску. Комерційні втрати є різницею між балансовими і розрахованими технологічними витратами:

$$\Delta W_{\text{ком}} = (W_{\text{надх}} - W_{\text{відп}}) - \Delta W_{\text{техн}}, \quad (1)$$

де $\Delta W_{\text{ком}}$ – комерційні втрати; $W_{\text{надх}}$ – надходження електроенергії в електричну мережу; $W_{\text{відп}}$ – корисний відпуск електроенергії; $\Delta W_{\text{техн}} = \Delta W_{\text{т}} + \Delta W_{\text{вп}} + \Delta W_{\text{о}}$ – технологічні витрати, які складаються з технічних втрат в елементах мережі $\Delta W_{\text{т}}$, витрат електроенергії на власні потреби підстанцій $\Delta W_{\text{вп}}$, та недообліку електроенергії за рахунок інструментальних похибок вимірювального середовища АСКОЕ $\Delta W_{\text{о}}$.

Для визначення технічної складової втрат електроенергії у розподільних електричних мережах 10(6) кВ, враховуючи наявний рівень інформаційного забезпечення, доцільним є застосування методу поелементних розрахунків [4] у поєднанні з методом середніх навантажень [5]:

$$\Delta W_{\text{н}} = 3\Delta t \sum_{i=1}^k R_i \sum_{j=1}^n I_{ij}^2, \quad (2)$$

де k – кількість елементів мережі; Δt – інтервал часу між послідовними замірами навантаження елементів; T – звітний період часу; $n = T/\Delta t$ – кількість замірів за звітний період; I_{ij} – середнє значення струму i -го елемента з опором R_i на j -му інтервалі часу;

$$\Delta W_{\text{н}} = \Delta P_{\text{ср}} k_{\text{ф}}^2 T, \quad (3)$$

де $\Delta P_{\text{ср}}$ – втрати потужності в мережі при середніх навантаженнях вузлів (або мережі в цілому) за час T ; $k_{\text{ф}}$ – коефіцієнт форми графіка потужності або струму.

Самостійне застосування методу (2) призводить до істотних похибок у випадку тривалих (більше 30 хвилин) інтервалів оновлення інформації Δt про режими МЕМ. Особливістю такого поєднання є широкі можливості залучення додаткової інформації для уточнення результатів визначення втрат, а у випадку зменшення інтервалів часу між розрахунками (за рахунок використання інформаційних можливостей АСКОЕ), наприклад, до 30 хвилин – можливість переходу до методу чисельного інтегрування, що, як буде показано далі є найбільш точним з наявних методів.

Натурні експерименти з аналізу балансових витрат електроенергії. Для визначення впливу складу та періодичності оновлення інформації про режими МЕМ на точність визначення технічних втрат електроенергії в них на базі Вінницьких міських мереж було проведено ряд натурних експериментів за умовами яких для окремих фрагментів МЕМ 10 кВ було забезпечено їх повну спостережність. Для цього застосовувалися мікропроцесорні засоби обліку (клас точності 0.1), що забезпечували фіксацію, як зна-

чення надходження/відпуску електроенергії, так і півгодинного графіку за період T . Для різних фідерів кабельних ліній період T становив 10-11 діб, оскільки протягом більшого терміну не вдавалося підтримувати стабільність їх схеми.

Протягом часу проведення експерименту лічильником на головній ділянці фідерів фіксувався графік надходження електроенергії (рис. 2), а лічильниками, що встановлені на ТП 10/0,4 кВ – графік її відпуску споживачам. При цьому було обрано фідери, що забезпечували передачу електроенергії як промисловим, так і комунально-побутовим споживачам.

В результаті балансування півгодинних показів лічильників, що встановлені на живильних підстанціях та ТП-10/0,4 кВ, визначалися графіки балансових втрат активної та реактивної потужності у повністю спостережній мережі з дискретністю 0,5 год. Приклад такого графіку подано на рис. 3.

Для наведеного фрагменту МЕМ балансові втрати коливаються у межах 1,5-2,5% від відпущеної електроенергії. Їх значення використовувалося як еталонне для перевірки ефективності методів визначення технічних втрат.

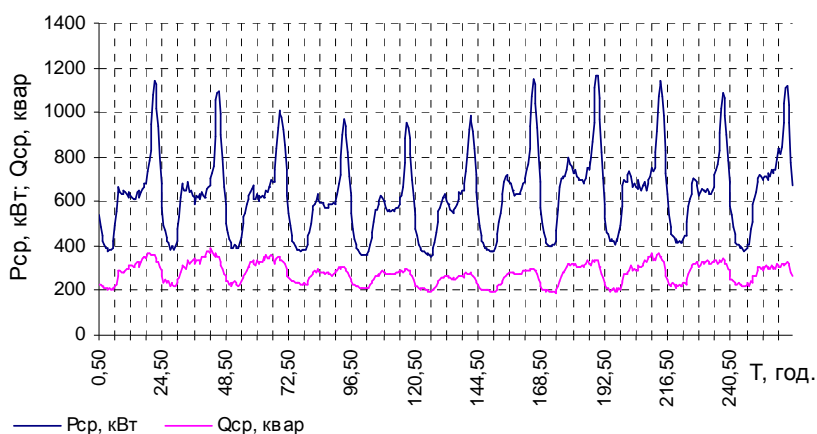


Рис. 2 – Графік надходження електроенергії з ТП 110/10 кВ

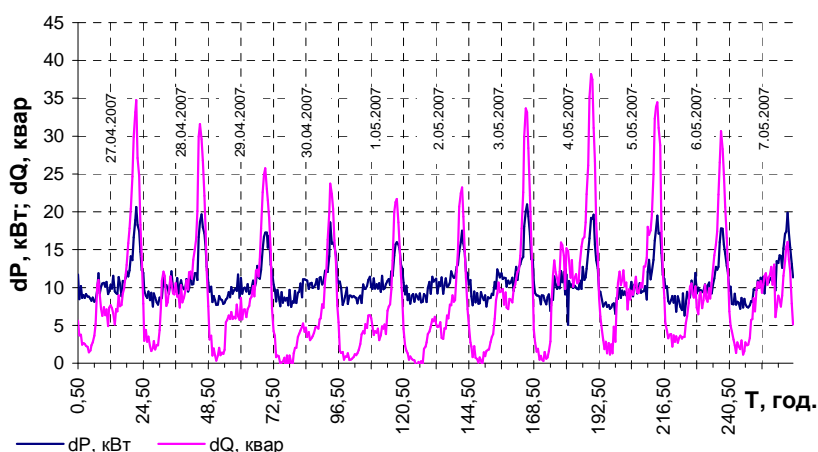


Рис. 3 – Приклад графіку балансових втрат електроенергії у МЕМ 10 кВ

У процесі обробки результатів експерименту виявлено ряд особливостей кабельних мереж, які мають враховуватися під час розрахунку втрат електроенергії та розробки заходів з їх зменшення. Так встановлено, що у процесі розрахунку режимів кабельних мереж 10 кВ, а також під час складання балансів реактивної потужності обов'язковим є врахування ємнісної генерації кабельних ЛЕП (що для наведеного при-

кладу щогодини становить, у середньому, 12,5 квар·год), оскільки без цього балансові втрати реактивної енергії можуть бути суттєво неточними (див. рис. 3).

Аналіз впливу якості інформаційного забезпечення на ефективність методів визначення технічних втрат електроенергії. Найбільш недосконалими місцями схематичних методів визначення втрат електроенергії, наприклад, на основі методу середніх навантажень (3), є визначення втрат потужності $\Delta P_{\text{ср}}$ (2) та коефіцієнта форми графіка відпуску електроенергії $k_{\text{ф}}$. Розрахункові значення цих параметрів істотно залежать від наявного інформаційного забезпечення. Приймаючи експериментальні балансові втрати за умовно-точне значення технічних втрат електроенергії для МЕМ, що розглядалися, досліджено вплив недосконалості вихідної інформації на розрахункові значення технічних втрат (табл. 1). За результатами досліджень намічено шляхи підвищення їх точності.

З наведеного в табл. 1 видно, що у випадку виконання розрахунку за методом середніх навантажень не маючи інформації про графік надходження електроенергії (і приймаючи його типовим), а також коефіцієнти завантаження трансформаторів ТП-10/0,4 кВ (і приймаючи пропорційний розподіл), спостерігається істотне заниження розрахункових втрат (біля 17%).

Враховуючи, що для наведеного прикладу мережі реальні коефіцієнти завантаження трансформаторів ТП 10/0,4 кВ змінюються у малих межах ($k_z=0,2-0,5$), то їх уточнення дозволяє неістотно наблизити результати розрахунку до еталонних. Суттєве покращення результатів дає уточнення графіка надходження електроенергії шляхом фіксації максимальних і мінімальних струмів в головній ділянці фідера, що використовуються для обчислення коефіцієнтів форми графіка (похибка зменшилася до 3%).

Найкращі результати дає зменшення періоду розрахунків до 30 хвилин з переходом до чисельного інтегрування, який навіть без уточнення коефіцієнтів завантаження дає для даного прикладу, забезпечує зменшення похибки до 2%, а після уточнення розподілу навантаження між ТП-10/0,4 результати розрахунку втрат фактично збігаються з експериментальними даними.

Таблиця 1 – Оцінка похибки результатів розрахунку втрат в МЕМ

Метод визначення втрат електроенергії	Надходження, кВт·год	Втрати ΔW , кВт·год	Втрати ΔW , %	Похибка, кВт·год	Похибка, %
Натурний експеримент (балансові втрати)	165915	2833,82	1,708	-	-
Метод середніх навантажень (без уточнювальних даних)	165917	2346,80	1,414	487,02	17,19
Метод середніх навантажень (уточнено k_z ТП 10/0,4)	165920	2484,48	1,497	349,34	12,33
Метод середніх навантажень (уточнено відпуск електроенергії по ТП 10/0,4)	165919	2501,52	1,508	332,3	11,73
Метод середніх навантажень (уточнено k_z та графік надходження електроенергії)	165918	2731,20	1,646	102,62	3,62
Метод чисельного інтегрування за графіком надходження електроенергії	165915	2776,80	1,674	57,02	2,01
Метод чисельного інтегрування (уточнено k_z ТП 10/0,4)	165915	2845,70	1,715	11,88	0,42

Отже точність визначення технічних втрат електроенергії в МЕМ істотно залежить від обсягу та періодичності оновлення інформації щодо режимів їх роботи МЕМ. Розрахунки втрат за неповними і неточними даними можуть призводити до суттєвого недорахування технічних втрат та неадекватного складання балансів електроенергії.

Заплановані за результатами таких розрахунків заходи по зменшенню втрат електроенергії не є ефективними.

Інформаційне забезпечення аналізу структури витрат електроенергії в MEM. Забезпечення достатньої адекватності результатів складання структури балансів, як основного показника якості функціонування АСКОЕ, вимагає виконання наступних етапів формування відповідного інформаційного забезпечення. На рис. 4 наведено етапи формування інформаційного забезпечення задачі розрахунку втрат електроенергії в MEM.

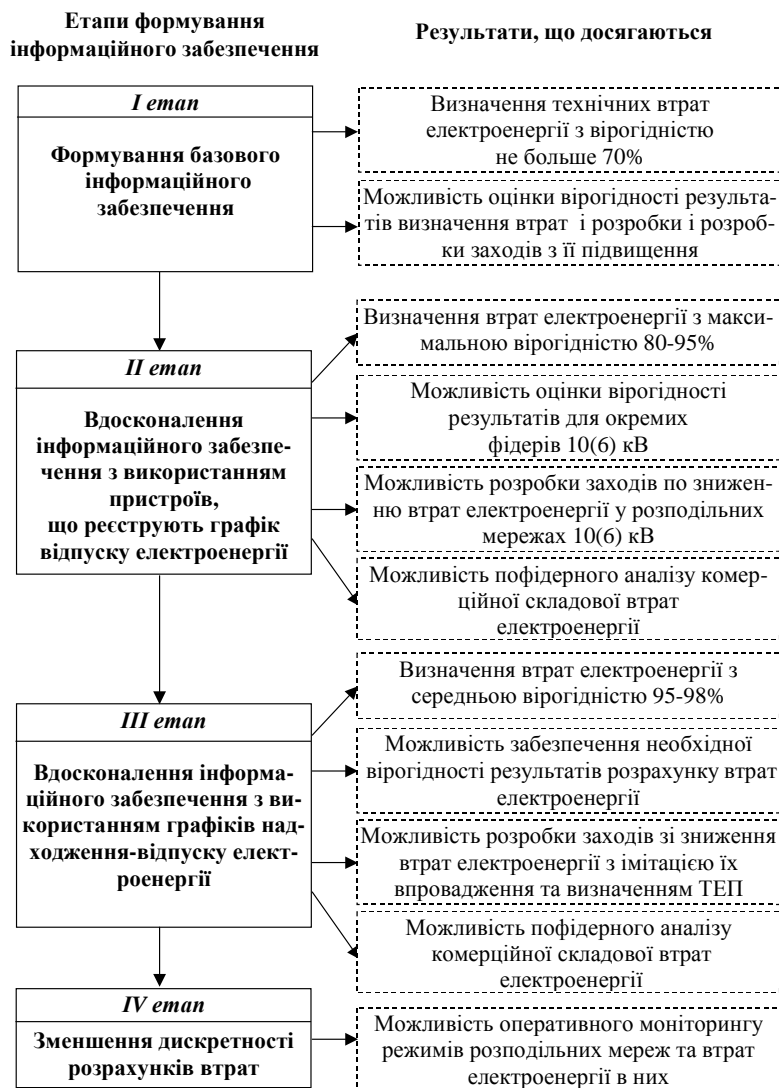


Рис. 4 – Етапи формування інформаційного забезпечення задачі розрахунку втрат електроенергії в MEM

Формування базового інформаційного забезпечення передбачає підготовку баз даних основного обладнання, формування по-фідерних нормальних схем та фіксацію положення комутаційних апаратів, що виконують коригування схеми MEM у нормальних та аварійних режимах. Вдосконалення інформаційного забезпечення досягається шляхом встановлення електронних лічильників та реєстраторів, що дозволяє періодично уточнювати схеми MEM, їх параметри, а також інформацію про поточне надходження та відпуск електроенергії у мережі. Формування вимірювального середовища АСКОЕ (рис. 1) з заданою дискретністю опитування пристроїв телевимірювань дозво-

ляє перейти від періодичних розрахунків втрат електроенергії в МЕМ до оперативного моніторингу режимів мереж та втрат у них.

Висновки.

1. Метод визначення втрат за середніми навантаженнями характеризується істотною похибкою 15-20%, що співрозмірна з похибкою статистичних методів та еквівалентування. Її суттєве зменшення є можливим за рахунок уточнення графіка надходження електроенергії по ТП 110/10 кВ та коефіцієнтів завантаження ТП 10/0,4 кВ з використанням наявних технічних засобів обліку. Найбільш точним методом розрахунку втрат електроенергії є метод чисельного інтегрування за графіками надходження електроенергії. Такий підхід у поєднанні з уточненням коефіцієнтів завантаження ТП 10/0,4 кВ дозволяє забезпечити рівень адекватності аналізу балансів електроенергії, що є достатнім для розв'язання технічних задач.

2. Для уточнення і приведення у відповідність з реальними умовами експлуатації результатів структурування витрат електроенергії в МЕМ вимірювальне середовище АСКОЕ має будуватися виходячи з вимог забезпечення заданої точності як балансів витрат електроенергії, так технічних втрат, що є їх ваговою складовою.

Література

1. Пейзель В.М., Степанов А.С. Расчеты технических потерь энергии в распределительных электрических сетях с использованием информации АСКУЭ и АСДУ // Электричество. – 2002. – №3. – С.10–15.
2. Сподин О.И. Анализ возможных решений усовершенствования учета электроэнергии и обслуживания бытовых потребителей, снижения операционных затрат. Предложения оптимального решения // Электрические сети и системы. – 2006. – №3. – С.65–73.
3. Праховник А.В., Коцар О.В., Прокопеч В.І. Сучасні принципи побудови АСКОЕ суб'єктів ОРЕ та АСКОЕ споживачів в умовах енергоринку України // Енергетика та електрифікація. – 2006. – №4. – С. 2–7.
4. Методика складання структури балансу електроенергії в електричних мережах 0.38-150 кВ, аналізу його складових і нормування технологічних витрат електроенергії. ГНД 34.09.104-2003– К.: ГРІФРЕ, 2004. – 164 с.
5. Кулик В.В., Писляков Д.С. Оцінка вірогідності результатів аналізу втрат електроенергії в розподільних електричних мережах засобами АСКОЕ // Вісник Харківського національного технічного університету сільського господарства імені Петра Василенка. – 2006. – Вип. 43. т. 1. – С. 40–49.
6. Технічні вимоги до автоматизованої системи комерційного обліку оптового ринку електричної енергії України. Додаток 7(4) до Договору між Членами Оптового ринку електричної енергії України.: Київ, 2003.
7. Концепція побудови автоматизованих систем обліку електроенергії в умовах енергоринку. – Затв. спільним наказом Мінпаливенерго, НКРЕ, Держкоменергозбереження, Держстандарту, Держбуду та Держкомпромполітики України №32/28/28/276/75/54 від 17.04.2006 р. – м. Київ.

ІНФОРМАЦІЙНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ РОЗРАХУНКІВ ВТРАТ ЕЛЕКТРОЕНЕРГІЇ У МІСЬКИХ ЕЛЕКТРИЧНИХ МЕРЕЖАХ

П.Д. Лежнюк, В.В. Кулик, А.Л. Поліщук

Робота присвячена аналізу особливостей використання методів розрахунку втрат електроенергії в розподільних електричних мережах, а також дослідженню, з використанням натурного експерименту, впливу якості інформаційного забезпечення на точність розрахунку технічної складової втрат.

INFORMATIVE PROVIDING OF COMPUTATIONS OF LOSSES OF ELECTRIC POWER IN URBAN ELECTRIC NETWORKS

P.D. Legnuk, V.V. Kylik, A.L. Polishyk

Work is devoted to the analysis of features of the use of methods of computation of losses of electric power in distributive electric networks, and also research, with the use of model experiment, influence of qualities of the informative providing on exactness of computation of technical constituent of losses.